

THE REQUIREMENT OF FLEXURAL REINFORCEMENT AREA BETWEEN SQUARE BEAM AND T BEAM BASED ON THE VARIATION OF STEEL YIELD STRENGTH

KEBUTUHAN LUAS TULANGAN LENTUR ANTARA BALOK PERSEGI DAN BALOK T BERDASARKAN VARIASI TEGANGAN LELEH BAJA Samuel Layang¹

¹) Prodi. Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Palangka Raya, Kampus UPR Tunjung Nyaho, Jl. H. Timang

e-mail: samuel.layang@ptb.upr.ac.id

ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the requirement of flexural reinforcement area between square beams and T beams. This study is using a space frame as a model with geometric shapes and symmetric loading. The requirement of flexural reinforcement needs is reviewed on the selfweight of structures, live loads and combined loads with the variations of steel yield strength (f_y) of 300 MPa, 350 MPa and 400 MPa.

The result of this study indicate that the calculation of the requirement of the flexural reinforcement area which only takes into account the selfweight of the structure or live load gives the same result for square beams and T beams. However it gives different results for the combination load. The requirement of the flexural reinforcement area for T beam is 4% less than square beam. The analysis result is showing that the higher quality of steel used the needs of the area of reinforcement will reduce. The reduction that occurs for each variation of steel yield strength both on square beams and T beams is about 16.67%.

Keyword: *reinforcement area, square beam, T-beam*

ABSTRAK

Studi ini bertujuan untuk mengetahui kebutuhan luas tulangan lentur pada balok persegi dan balok T. Model yang digunakan berupa portal 3 dimensi dengan bentuk geometri dan pembebanan yang simetris. Kebutuhan luas tulangan lentur ditinjau terhadap berat sendiri struktur, beban hidup dan beban kombinasi dengan variasi tegangan leleh baja (f_y) 300 MPa, 350 MPa dan 400 MPa.

Hasil studi menunjukkan bahwa perhitungan kebutuhan luas tulangan lentur yang hanya memperhitungkan berat sendiri struktur atau beban hidup memberikan hasil yang sama untuk balok persegi dan balok T. Namun memberikan hasil yang berbeda untuk beban kombinasi. Kebutuhan luas tulangan lentur untuk balok T lebih kecil 4% dibandingkan balok persegi. Dari hasil analisa diketahui pula bahwa semakin tinggi mutu baja yang digunakan maka kebutuhan luas tulangan akan semakin berkurang. Pengurangan yang terjadi untuk setiap variasi tegangan leleh baja baik pada balok persegi maupun balok T sekitar 16,67%.

Kata Kunci : Luas tulangan, balok persegi, balok T

PENDAHULUAN

Bangunan gedung dengan lantai lebih dari satu pada umumnya menggunakan struktur utama berupa portal. Portal merupakan rangkaian balok dan kolom yang saling menyatu sehingga membentuk satu kesatuan yang kokoh yang menjamin keamanan gedung secara keseluruhan. Struktur portal dapat terbuat dari baja, beton, kayu atau dapat pula berupa struktur gabungan (komposit). Pada perencanaan portal dikenal konsep "*strong column, weak beam*", yang berarti bahwa ketika beban ultimit akan terlampaui, maka balok yang terlebih dahulu mengalami kegagalan (*failure*). Hal ini dikarenakan jika balok yang mengalami kegagalan, kemungkinan pada area tersebut saja yang terganggu. Berbeda jika kolom yang mengalami kegagalan, maka semua sistem struktur akan terganggu.

Balok merupakan salah satu komponen struktur yang harus direncanakan dengan cermat, agar memberikan keamanan yang maksimal. Perencanaan yang terkait dengan balok harus memenuhi syarat lentur, geser, torsi dan kontrol lendutan. Syarat-syarat tersebut harus terpenuhi sehingga kemampuan layanan balok menjadi optimal. Selain syarat keamanan perlu juga mempertimbangkan faktor ekonomis. Bagaimanapun juga prinsip ekonomis tetap menjadi perhatian karena berhubungan dengan biaya konstruksi secara keseluruhan.

Salah satu cara untuk mendapatkan biaya konstruksi balok yang ekonomis yaitu dengan menggunakan tulangan sesuai kebutuhan (seperlunya). Penggunaan tulangan seperlunya mengandung pengertian bahwa tulangan yang digunakan semaksimal mungkin namun harus lebih besar dari tulangan minimum yang disyaratkan. Pada perencanaan struktur portal dengan lantai lebih dari satu, perencana dapat merencanakan penulangan lentur balok dengan mengasumsi penampang balok berupa balok persegi atau balok T. Untuk balok yang terletak di tepi dapat berbentuk balok L. Untuk tujuan praktis banyak perencana yang menganalisa sebagai balok persegi. Dari kedua asumsi ini akan timbul pertanyaan mana yang lebih ekonomis, apakah balok dengan penampang persegi atau balok T.

Balok persegi umumnya berbentuk segiempat bisa bertulangan tunggal atau tulangan rangkap. Balok bertulangan tunggal adalah balok yang hanya diberi penulangan pada daerah yang menerima gaya Skema portal 3 dimensi (*space frame*) sebagai berikut:

tarik. Nawy (1989) menyebutkan bahwa dalam menganalisa perilaku penampang balok terdapat tiga asumsi yang digunakan yaitu, (1) distribusi tegangan dianggap linear, penampang yang datar sebelum mengalami lentur akan tetap datar dan tegak lurus terhadap sumbu netral setelah mengalami lentur; (2) regangan pada baja dan beton sama sebelum terjadi retak pada beton atau leleh pada baja; (3) beton lemah terhadap tarik.

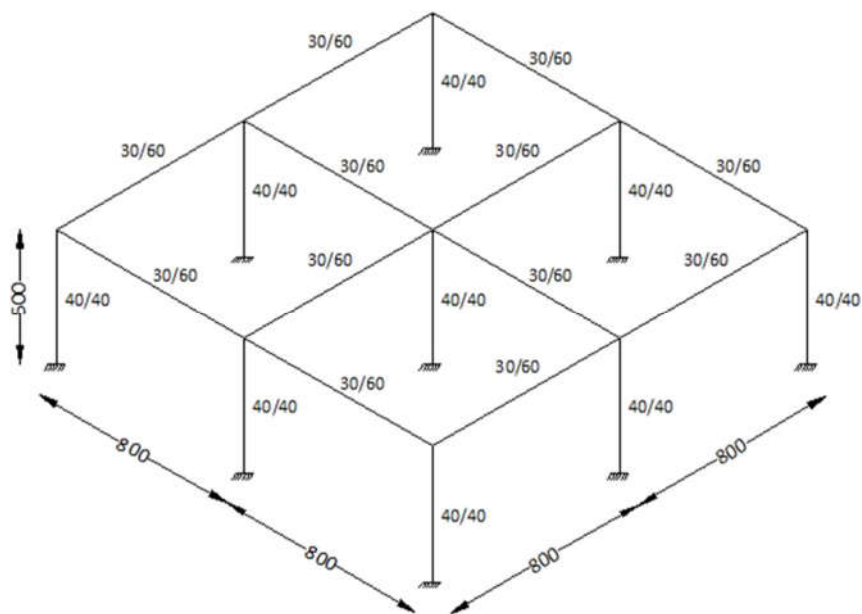
Setiawan (2016), menyatakan bahwa balok T merupakan bentuk balok yang terdapat pada suatu sistem pelat satu arah, yang mana pelat diasumsikan memikul beban dalam satu arah dan disalurkan oleh balok dalam arah tegak lurus. Proses pengecoran pada balok dan pelat secara bersamaan (monolit), sehingga pelat berfungsi sebagai sayap (*flens*) dari balok. McCormac (2000) menyebutkan sebuah balok dianggap balok T jika seluruh daerah flens mengalami tekan, yang dibedakan menjadi dua yaitu balok T dengan tulangan tunggal ($K \leq K_{maks}$) dan balok T dengan tulangan rangkap.

Berdasarkan uraian di atas, penulis melakukan studi yang bersifat analisis dengan menghitung kebutuhan luas tulangan perlu balok pada daerah lapangan dengan menggunakan dua asumsi, yaitu balok dengan penampang persegi dan balok T pada portal 3 dimensi. Adapun asumsi penulangan pada balok persegi dan balok T bertulangan tunggal. Dari studi ini akan diperoleh gambaran sejauh mana perbedaan dari kedua asumsi penampang balok tersebut. Analisa statika untuk menghitung momen lentur menggunakan aplikasi Program STAAD Pro 2004.

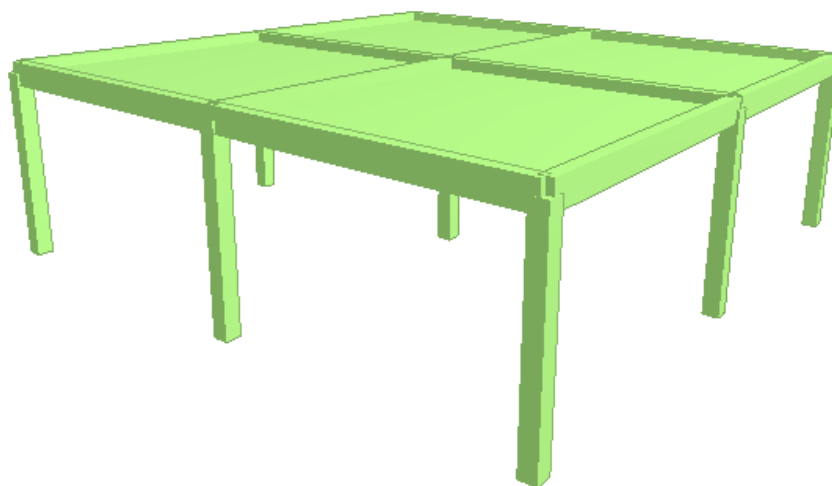
METODE PENELITIAN

Untuk mengetahui kebutuhan luas tulangan yang diperlukan pada balok persegi dan balok T digunakan model portal 3 dimensi. Data-data yang digunakan dalam perencanaan adalah:

1. Mutu beton (f'_c) 25 MPa
2. Mutu baja (f_y) 400 MPa
3. Tulangan $\varnothing 16$
4. Dimensi balok 30/60
5. Dimensi kolom 40/40
6. Tebal plat atap 10 cm
7. Beban portal berupa beban merata ($q_1 = 2 \text{ ton/m}$)
Beban hidup plat atap 100 kg/m^2



Gambar 1. Struktur Portal 3-Dimensi



Gambar 2. 3D-Rendered View

Adapun variabel yang digunakan dalam analisa ini adalah:

- Variabel bebas (*independent variable*) berupa variasi tegangan leleh baja (f_y) 300 MPa, 350 MPa dan 400 MPa
- Variabel terikat (*dependent variable*) yaitu mutu beton, pembebanan, dimensi balok

Untuk menganalisa kebutuhan luas tulangan dilakukan pembatasan terhadap rasio tulangan, yang mana rasio tulangan yang digunakan lebih besar dari rasio tulangan minimum (ρ_{min}). Hal ini perlu dipertimbangkan karena jika rasio tulangan aktual (ρ_{akt}) yang terjadi lebih kecil dari rasio tulangan minimum, maka tidak akan terdapat perbedaan kebutuhan luas tulangan perlu pada balok persegi dan balok T. Selain rasio tulangan, dalam analisa ini tidak memperhitungkan jumlah tulangan terpasang, yang

diperhitungkan hanya luas total tulangan perlu. Kebutuhan luas tulangan hanya ditinjau pada daerah lapangan dengan asumsi balok bertulangan tunggal. Analisa statika portal untuk mendapatkan momen ultimit (M_u) menggunakan Program STAAD Pro 2004 dengan memperhitungkan berat sendiri balok.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bentuk geometri dan pembebanan pada portal simetris, sehingga momen yang diterima oleh semua balok interior sama besar, demikian pula untuk balok tepi (eksterior). Sehubungan dengan keperluan analisa, maka hanya balok interior yang ditinjau. Dari hasil analisa statika menggunakan Program STAAD Pro 2004 diperoleh nilai momen maksimum balok pada daerah lapangan (M_{lap}) dan tumpuan (M_{tump}) seperti pada tabel 1.

Diagram bidang momen dari setiap tipe pembebanan ditunjukkan pada gambar 3, 4 dan 5. Momen pada daerah tumpuan lebih besar jika dibandingkan dengan daerah lapangan untuk setiap

tipe pembebanan. Prosentase kenaikan nilai momen pada daerah lapangan dan tumpuan seperti pada tabel 2 dan 3.

Tabel 1. Momen Maksimum Lapangan dan Tumpuan pada Balok

Beban	Momen Lapangan (kNm)	Momen Tumpuan (kNm)
Berat sendiri struktur	15,372	27,950
Beban hidup (q_l)	70,785	132,681
Beban kombinasi	131,702	245,829

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 2. Prosentase Kenaikan Nilai Momen pada Daerah Lapangan

Beban	Momen Lapangan (kNm)	Kenaikan terhadap Momen Akibat Berat Sendiri
Berat sendiri struktur	15,372	-
Beban hidup (q_l)	70,785	460,48%
Beban kombinasi	131,702	856,77%

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 3. Prosentase Kenaikan Nilai Momen pada Daerah Tumpuan

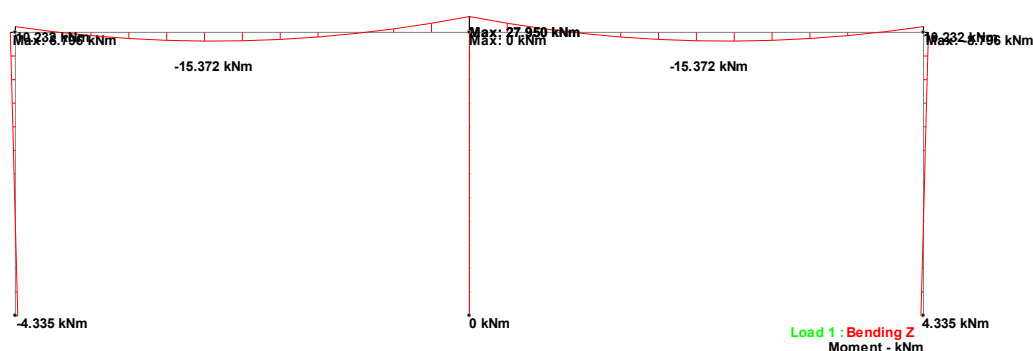
Beban	Momen Tumpuan (kNm)	Kenaikan terhadap Momen Akibat Berat Sendiri
Berat sendiri struktur	27,950	-
Beban hidup (q_l)	132,681	474,71%
Beban kombinasi	245,829	879,53%

Sumber: Hasil perhitungan

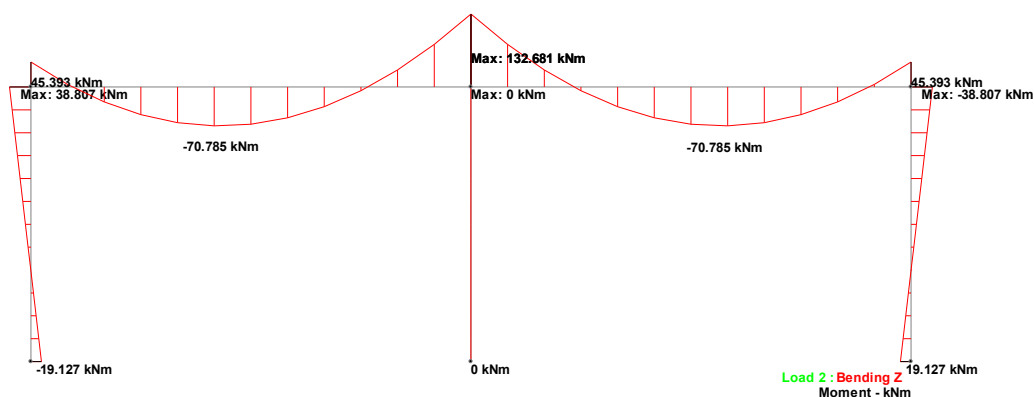
Jika hanya memperhitungkan berat sendiri struktur, momen pada daerah lapangan sebesar 15,372 kNm. Jika hanya memperhitungkan beban hidup yang bekerja pada balok, momen pada daerah tumpuan sebesar 70,785 kNm atau terjadi peningkatan sebesar 460,68%. Apabila memperhitungkan berat sendiri struktur dan beban hidup (beban kombinasi), maka momen menjadi

131,702 kNm atau terjadi peningkatan sebesar 856,77%.

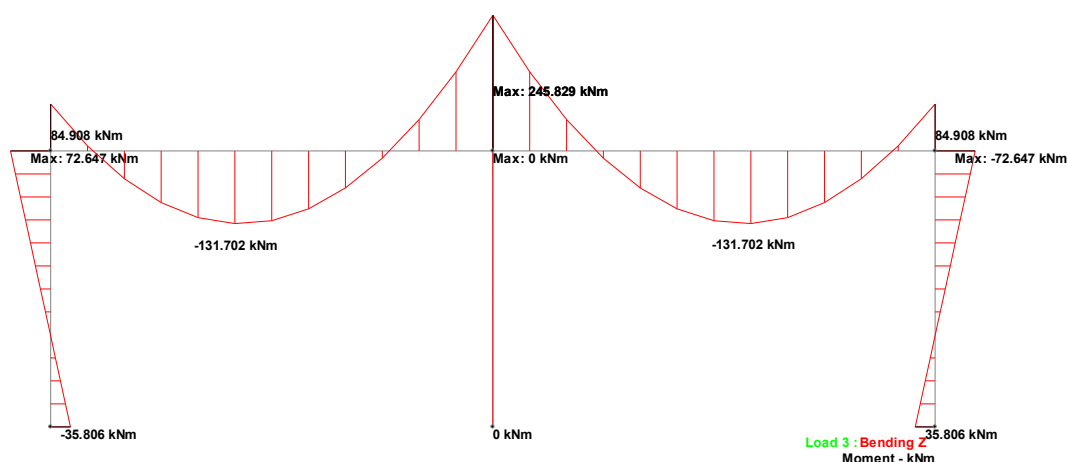
Dari tabel 3 terlihat bahwa, kenaikan nilai momen pada daerah lapangan mempunyai kecenderungan yang sama dengan momen pada daerah tumpuan. Seringkali dalam merencanakan penulangan lentur balok, berat sendiri balok diabaikan karena memiliki pengaruh yang relatif kecil.



Gambar 3. Diagram Momen Akibat Berat Sendiri Struktur



Gambar 4. Diagram Momen Akibat Beban Hidup



Gambar 5. Diagram Momen Akibat Beban Kombinasi

Momen maksimum balok pada daerah lapangan untuk setiap tipe pembebanan tidak terjadi di tengah bentang, namun pada jarak 3,336 m dari tumpuan kiri atau 4,664 m dari tumpuan kanan balok. Dari gambar bidang momen menunjukkan bahwa bidang momen simetris karena pembebanan dan bentuk geometri portal simetris. Momen pada kolom tengah bernilai nol, sehingga pada bentuk portal seperti gambar 1 apabila geometri portal dan pembebanan simetris, maka kolom tengah tidak menerima momen (momen = 0) berapapun besar beban yang bekerja, nilainya tetap sama dengan nol.

Penulangan Lentur Balok dengan Asumsi Balok Persegi

Perencanaan penulangan lentur pada balok biasanya dimulai dengan mengasumsi balok bertulangan tunggal yang mana penulangan hanya ditempatkan pada daerah yang menerima gaya tarik. Jika ternyata dengan tulangan tunggal masih belum

mampu, maka balok direncanakan dengan tulangan rangkap, yang mana penulangan ditempatkan pada daerah yang menerima gaya tarik dan gaya tekan. Apabila balok belum mampu menahan momen ultimit dengan asumsi tulangan rangkap, maka harus dilakukan perubahan dimensi balok. Oleh karena itu pada awal perhitungan harus dicek terlebih dahulu besarnya faktor momen pikul (K) yang terjadi, harus lebih kecil dari faktor momen pikul maksimum (K_{maks}). Nilai K_{maks} ditentukan oleh mutu beton (f'_c) dan mutu baja tulangan (f_y). Selain nilai momen, terdapat beberapa parameter yang harus diketahui dalam merencanakan penulangan lentur balok seperti tinggi efektif balok (d), mutu beton (f'_c), mutu baja (f_y), diameter tulangan yang digunakan. Hasil perhitungan kebutuhan luas tulangan lentur dengan asumsi balok persegi seperti pada tabel 4, 5 dan 6.

Tabel 4. Perhitungan kebutuhan Luas Tulangan Lentur Balok Persegi Akibat Berat Sendiri Struktur

Parameter Desain		Mutu Baja 300 MPa	Mutu Baja 350 MPa	Mutu Baja 400 MPa
Momen ultimit	kNm	15,372	15,372	15,372
Mutu Beton (f'_c)	MPa	25	25	25
Dimensi balok	lebar/tinggi (cm)	30/60	30/60	30/60
Tulangan	mm	Ø16	Ø16	Ø16

Tinggi efektif (d)	mm	552	552	552
Faktor momen pikul (K)	$\frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2}$	0,210	0,210	0,210
K_{maks}	$\frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + f_y)^2}$	7,112	6,833	6,574
$K < K_{maks} \rightarrow$ balok bertulangan tunggal				
Tinggi blok tegangan (a)	$\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f'_c}}\right) \cdot d$ (mm)	5,488	5,488	5,488
Luas tulangan perlu (A_{sperlu})	$\frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y}$ (mm ²)	116,612	99,953	87,459
Rasio tulangan perlu (ρ_{perlu})	$\frac{A_{sperlu}}{b \cdot d}$	0,00070	0,00060	0,00053
Rasio tulangan minimum (ρ_{min})	$\frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y}$ atau $\frac{1,4}{f_y}$ (terbesar)	0,00467	0,00400	0,00350
Rasio tulangan maksimum (ρ_{maks})	$0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y}\right)$	0,03137	0,02547	0,02117
Kesimpulan		Karena $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, digunakan ρ_{min}	Karena $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, digunakan ρ_{min}	Karena $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, digunakan ρ_{min}
Luas tulangan aktual (A_{sakt})	$\rho_{min} \cdot b \cdot d$ (mm ²)	772,800	662,400	579,600

Tabel 5. Perhitungan kebutuhan Luas Tulangan Lentur Balok Persegi Akibat Beban Hidup

Parameter Desain		Mutu Baja 300 MPa	Mutu Baja 350 MPa	Mutu Baja 400 MPa
Momen ultimit	kNm	70,785	70,785	70,785
Mutu Beton (f'_c)	MPa	25	25	25
Dimensi balok	lebar/tinggi (cm)	30/60	30/60	30/60
Tulangan	mm	Ø16	Ø16	Ø16
Tinggi efektif (d)	mm	552	552	552
Faktor momen pikul (K)	$\frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2}$	0,968	0,968	0,968
K_{maks}	$\frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + f_y)^2}$	7,112	6,833	6,574
$K < K_{maks} \rightarrow$ balok bertulangan tunggal				
Tinggi blok tegangan (a)	$\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f'_c}}\right) \cdot d$ (mm)	25,744	25,744	25,744
Luas tulangan perlu (A_{sperlu})	$\frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y}$ (mm ²)	547,064	468,912	410,298
Rasio tulangan perlu (ρ_{perlu})	$\frac{A_{sperlu}}{b \cdot d}$	0,00330	0,00283	0,00248
Rasio tulangan minimum (ρ_{min})	$\frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y}$ atau $\frac{1,4}{f_y}$ (terbesar)	0,00467	0,00400	0,00350
Rasio tulangan maksimum (ρ_{maks})	$0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y}\right)$	0,03137	0,02547	0,02117
Kesimpulan		Karena $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, digunakan ρ_{min}	Karena $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, digunakan ρ_{min}	Karena $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, digunakan ρ_{min}
Luas tulangan aktual (A_{sakt})	$\rho_{min} \cdot b \cdot d$ (mm ²)	772,800	662,400	579,600

Tabel 6. Perhitungan kebutuhan Luas Tulangan Lentur Balok Persegi Akibat Beban Kombinasi

Parameter Desain		Mutu Baja 300 MPa	Mutu Baja 350 MPa	Mutu Baja 400 MPa
Momen ultimit	kNm	131,702	131,702	131,702
Mutu Beton (f'_c)	MPa	25	25	25
Dimensi balok	lebar/tinggi (cm)	30/60	30/60	30/60
Tulangan	mm	Ø16	Ø16	Ø16

Tinggi efektif (d)	mm	552	552	552
Faktor momen pikul (K)	$\frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2}$	1,801	1,801	1,801
K_{maks}	$\frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + f_y)^2}$	7,112	6,833	6,574
$K < K_{maks} \rightarrow$ balok bertulangan tunggal				
Tinggi blok tegangan (a)	$\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f'_c}}\right) \cdot d$ (mm)	48,953	48,953	48,953
Luas tulangan perlu (A_{sperlu})	$\frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y}$ (mm ²)	1040,254	891,646	780,190
Rasio tulangan perlu (ρ_{perlu})	$\frac{A_{sperlu}}{b \cdot d}$	0,00628	0,00538	0,00471
Rasio tulangan minimum (ρ_{min})	$\frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y}$ atau $\frac{1,4}{f_y}$ (terbesar)	0,00467	0,00400	0,00350
Rasio tulangan maksimum (ρ_{maks})	$0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y}\right)$	0,03137	0,02547	0,02117
Kesimpulan	$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$	$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$	$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$	$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$
Luas tulangan aktual (A_{sakt})	mm ²	1040,254	891,646	780,190

Pada tabel 4 dan 5 menunjukkan pola yang sama yaitu rasio tulangan perlu lebih kecil dari rasio tulangan minimum ($\rho_{perlu} < \rho_{min}$), sehingga dalam perhitungan luas tulangan aktual digunakan rasio tulangan minimum. Penggunaan rasio tulangan minimum dengan tujuan untuk mencegah terjadinya keruntuhan getas (*brittle*) yang sangat berbahaya karena terjadi secara tiba-tiba tanpa memberikan peringatan terlebih dahulu. Pengaruh berat sendiri dalam analisa statika sangat kecil, hal ini terlihat dari tabel 4, yang mana nilai rasio tulangan perlu sangat kecil.

Pada analisa statika yang memperhitungkan berat sendiri struktur dan beban hidup (beban kombinasi), rasio tulangan perlu yang terjadi lebih besar dari rasio tulangan minimum dan lebih kecil dari rasio tulangan maksimum ($\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$). Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan luas tulangan

terpenuhi dan menjamin tidak terjadinya keruntuhan getas (*brittle*). Dengan kata lain luas tulangan aktual sama dengan luas tulangan perlu.

Penulangan Lentur Balok dengan Asumsi Balok T

Dalam menganalisis balok T pada prinsipnya hampir sama dengan balok persegi. Perbedaan utamanya terletak pada perhitungan gaya tekan yang ditahan oleh beton (C_c) karena ada pengaruh sayap (*flens*) pada kedua sisi balok bagian atas dan sangat ditentukan oleh letak garis netral. Ada dua kemungkinan letak garis netral (c), di dalam atau di luar flens. Pada kebanyakan kasus, letak garis netral terletak di dalam flens. Parameter perencanaan tulangan lentur balok T memperhitungkan lebar efektif flens, untuk data lainnya sama dengan balok persegi.

Tabel 7. Perhitungan kebutuhan Luas Tulangan Lentur Balok T Akibat Berat Sendiri Balok

Parameter Desain		Mutu Baja 300 MPa	Mutu Baja 350 MPa	Mutu Baja 400 MPa
Momen ultimit (M_u)	kNm	15,372	15,372	15,372
Mutu Beton (f'_c)	MPa	25	25	25
Dimensi balok	lebar/tinggi (cm)	30/60	30/60	30/60
Lebar efektif flens	$\left. \begin{matrix} b_w + 2(l_n) \\ b_w + 16(h_f) \\ l/4 \end{matrix} \right\} \text{nilai}$	1900	1900	1900
Tulangan	mm	Ø16	Ø16	Ø16
Tinggi efektif (d)	mm	552	552	552
Faktor momen pikul (K)	$\frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2}$	0,033	0,033	0,033
K_{maks}	$\frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + f_y)^2}$	7,112	6,833	6,574
$K < K_{maks} \rightarrow$ balok bertulangan tunggal				
Tinggi blok tegangan (a)	$\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f'_c}}\right) \cdot d$ (mm)	0,863	0,863	0,863

Tinggi garis netral	$c = a/\beta_1$	(mm)	1,015	1,015	1,015
$c < h_f$ (letak garis netral berada di flens)					
Luas tulangan pada bagian flens (A_{sf})	$\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot (b - b_w) \cdot a}{f_y}$	(mm ²)	97,778	83,818	73,341
Momen yang diterima flens (M_{uf})	$\phi \cdot A_{sf} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$	(kNm)	12,945	12,945	12,945
Momen yang diterima web (M_{uw})	$M_u - M_{uf}$	(kNm)	2,427	2,427	2,427
Rasio tulangan web (ρ_w)	$\frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}}\right)$		0,00011	0,00009	0,00008
Luas tulangan web (A_{sw})	$\rho_w \cdot b_w \cdot d$	(mm ²)	18,335	15,716	13,751
Luas tulangan total (A_s)	$A_{sf} + A_{sw}$	(mm ²)	116,612	99,534	87,093
Rasio tulangan web (ρ_w)	$\frac{A_s}{b_w \cdot d}$		0,00070	0,00060	0,00053
Rasio tulangan minimum (ρ_{min})	$\frac{\sqrt{f_c}}{4 \cdot f_y}$ atau $\frac{1,4}{f_y}$ (terbesar)		0,00467	0,00400	0,00350
Rasio tulangan maksimum web (ρ_{maks})	$0,75 \cdot \left[\frac{0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) + \rho_f \right]$		0,03055	0,02483	0,02065
Kesimpulan			Karena $\rho_w < \rho_{min}$, digunakan ρ_{min}	Karena $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, digunakan ρ_{min}	Karena $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, digunakan ρ_{min}
Luas tulangan aktual (A_{sakt})	$\rho_{min} \cdot b_w \cdot d$	(mm ²)	772,800	662,400	579,600

Tabel 8. Perhitungan kebutuhan Luas Tulangan Lentur Balok T Akibat Beban Hidup

Parameter Desain		Mutu Baja 300 MPa	Mutu Baja 350 MPa	Mutu Baja 400 MPa
Momen ultimit (M _u)	kNm	70,785	70,785	70,785
Mutu Beton (f'c)	MPa	25	25	25
Dimensi balok	lebar/tinggi (cm)	30/60	30/60	30/60
Lebar efektif flens	$\left. \begin{matrix} b_w + 2(l_n) \\ b_w + 16(h_f) \\ l/4 \end{matrix} \right\} \text{nilai}$	1900	1900	1900
Tulangan	mm	Ø16	Ø16	Ø16
Tinggi efektif (d)	mm	552	552	552
Faktor momen pikul (K)	$\frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2}$	0,153	0,153	0,153
K _{maks}	$\frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + f_y)^2}$	7,112	6,833	6,574
K < K _{maks} ➔ balok bertulangan tunggal				
Tinggi blok tegangan (a)	$\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f'_c}}\right) \cdot d$ (mm)	3,948	3,948	3,948
Tinggi garis netral	c = a/β ₁ (mm)	4,688	4,688	4,688
c < h _f (letak garis netral berada di flens)				
Luas tulangan pada bagian flens (A _{sf})	$\frac{0,85 \cdot f'_c \cdot (b - b_w) \cdot a}{f_y}$ (mm ²)	451,753	387,062	338,679
Momen yang diterima flens (M _{u,f})	Ø · A _{sf} · f _y · (d - $\frac{a}{2}$) (kNm)	59,608	59,608	59,608

Momen yang diterima <i>web</i> (M_{uw})	$M_u - M_{uf}$ (kNm)	11,177	11,177	11,177
Rasio tulangan <i>web</i> (ρ_w)	$\frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right)$	0,00051	0,00044	0,00038
Luas tulangan <i>web</i> (A_{sw})	$\rho_w \cdot b_w \cdot d$ (mm ²)	84,670	72,574	63,502
Luas tulangan total (A_s)	$A_{sf} + A_{sw}$ (mm ²)	536,242	459,636	402,182
Rasio tulangan <i>web</i> (ρ_w)	$\frac{A_s}{b_w \cdot d}$	0,00324	0,00278	0,00243
Rasio tulangan minimum (ρ_{min})	$\frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y}$ atau $\frac{1,4}{f_y}$ (terbesar)	0,00467	0,00400	0,00350
Rasio tulangan maksimum <i>web</i> (ρ_{maks})	$0,75 \cdot \left[\frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) + \rho_f \right]$	0,03215	0,02620	0,02185
Kesimpulan		Karena $\rho_w < \rho_{min}$, digunakan ρ_{min}	Karena $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, digunakan ρ_{min}	Karena $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, digunakan ρ_{min}
Luas tulangan aktual (A_{sakt})	$\rho_{min} \cdot b_w \cdot d$ (mm ²)	772,800	662,400	579,600

Tabel 9. Perhitungan kebutuhan Luas Tulangan Lentur Balok T Akibat Kombinasi

Parameter Desain		Mutu Baja 300 MPa	Mutu Baja 350 MPa	Mutu Baja 400 MPa
Momen ultimit (M_u)	kNm	131,702	131,702	131,702
Mutu Beton (f'_c)	MPa	25	25	25
Dimensi balok	lebar/tinggi (cm)	30/60	30/60	30/60
Lebar efektif flens	$\left. \begin{matrix} b_w + 2(l_n) \\ b_w + 16(h_f) \\ l/4 \end{matrix} \right\} \text{nilai}$	1900	1900	1900
Tulangan	mm	Ø16	Ø16	Ø16
Tinggi efektif (d)	mm	552	552	552
Faktor momen pikul (K)	$\frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2}$	0,284	0,284	0,284
K_{maks}	$\frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + f_y)^2}$	7,112	6,833	6,574
$K < K_{maks} \rightarrow$ balok bertulangan tunggal				
Tinggi blok tegangan (a)	$\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \cdot d$ (mm)	7,437	7,437	7,437
Tinggi garis netral	$c = a / \beta_1$ (mm)	8,749	8,749	8,749
$c < h_f$ (letak garis netral berada di flens)				
Luas tulangan pada bagian flens (A_{sf})	$\frac{0,85 \cdot f'_c \cdot (b - b_w) \cdot a}{f_y}$ (mm ²)	842,837	722,432	632,128
Momen yang diterima <i>flens</i> (M_{uf})	$\phi \cdot A_{sf} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$ (kNm)	110,907	110,907	110,907
Momen yang diterima <i>web</i> (M_{uw})	$M_u - M_{uf}$ (kNm)	20,795	20,795	20,795
Rasio tulangan <i>web</i> (ρ_w)	$\frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right)$	0,00095	0,00082	0,00072
Luas tulangan <i>web</i> (A_{sw})	$\rho_w \cdot b_w \cdot d$ (mm ²)	158,032	135,456	118,524
Luas tulangan	$A_{sf} + A_{sw}$ (mm ²)	1000,870	857,888	750,652

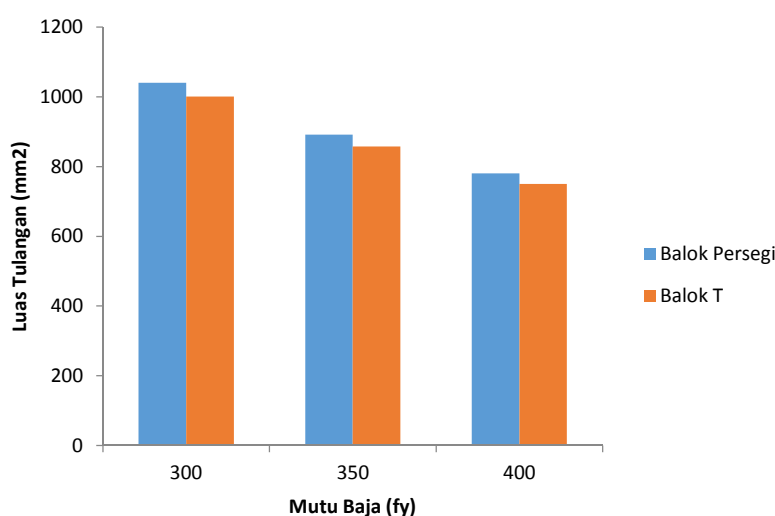
total (As)				
Rasio tulangan web (ρ_w)	$\frac{A_s}{b_w \cdot d}$	0,00604	0,00518	0,00453
Rasio tulangan minimum (ρ_{min})	$\frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y}$ atau $\frac{1,4}{f_y}$ (terbesar)	0,00467	0,00400	0,00350
Rasio tulangan maksimum web (ρ_{maks})	$0,75 \cdot \left[\frac{0,85 \cdot f_{rc} \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) + \rho_f \right]$	0,03392	0,02772	0,02318
Kesimpulan		$\rho_{min} < \rho_w < \rho_{maks}$	$\rho_{min} < \rho_w < \rho_{maks}$	$\rho_{min} < \rho_w < \rho_{maks}$
Luas tulangan aktual ($A_{s_{akt}}$)	(mm ²)	1000,870	857,888	750,652

Berdasarkan tabel 4 sampai dengan tabel 9, diketahui bahwa luas tulangan yang diperlukan pada balok persegi dan balok T sama untuk beban mati dan beban hidup. Hal ini disebabkan karena rasio tulangan perlu lebih kecil dari rasio tulangan minimum, sehingga yang digunakan dalam perhitungan luas tulangan aktual adalah rasio tulangan minimum. Berbeda pada beban kombinasi, yang mana luas tulangan yang diperlukan pada balok T lebih kecil jika dibandingkan dengan balok persegi pada semua variasi tegangan leleh baja. Rekapitulasi kebutuhan luas tulangan pada balok persegi dan balok T dapat dilihat pada tabel 10.

Dari tabel 10 terlihat jelas bahwa kebutuhan luas tulangan pada balok persegi dan balok T hanya berbeda pada beban kombinasi. Dengan demikian pada taraf pembebanan yang kecil, tidak terdapat perbedaan kebutuhan luas tulangan perlu antara balok persegi dan balok T sehingga dalam perencanaan penulangan, perencana dapat menggunakan analisa balok persegi karena lebih mudah. Namun untuk taraf pembebanan yang besar dengan menggunakan banyak kombinasi beban dan konstruksi yang besar, perhitungan tulangan dengan menggunakan analisa balok T lebih ekonomis.

Tabel 10. Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Perlu Balok Persegi dan Balok T berdasarkan Variasi Mutu baja Tulangan

Beban	Luas Tulangan (mm ²)					
	Baja (f_y) 300		Baja (f_y) 350		Baja (f_y) 400	
	Balok Persegi	Balok T	Balok Persegi	Balok T	Balok Persegi	Balok T
Berat Sendiri	772,800	772,800	662,400	662,400	579,600	579,600
Hidup	772,800	772,800	662,400	662,400	579,600	579,600
Kombinasi	1040,254	1000,870	891,646	857,888	780,190	750,652



Gambar 6. Kebutuhan Luas Tulangan Perlu Balok Persegi dan Balok T

Pada beban kombinasi untuk setiap variasi tegangan leleh baja, kebutuhan luas tulangan perlu balok T lebih sedikit 4% dari kebutuhan luas tulangan balok persegi.

Dari hasil perhitungan luas tulangan perlu baik pada balok persegi maupun balok T menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu semakin tinggi mutu

(tegangan leleh) baja yang digunakan maka kebutuhan luas tulangan akan semakin berkurang demikian pula sebaliknya. Pengurangan yang terjadi untuk setiap variasi mutu baja sekitar 16,67%.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Hasil perhitungan kebutuhan luas tulangan perlu yang hanya memperhitungkan berat sendiri struktur saja atau beban hidup saja memberikan hasil yang sama untuk balok persegi dan balok T. Hal ini disebabkan karena rasio tulangan perlu lebih kecil dari rasio tulangan minimum, sehingga dalam perhitungan kebutuhan luas tulangan aktual menggunakan rasio tulangan minimum.
2. Hasil perhitungan kebutuhan luas tulangan perlu dengan beban kombinasi memberikan hasil bahwa kebutuhan luas tulangan pada balok T lebih sedikit dibandingkan pada balok persegi dengan pengurangan sebesar 4%.
3. Perencanaan tulangan lentur pada balok T akan memberikan perbedaan yang cukup signifikan dan lebih ekonomis dibandingkan balok persegi jika beban yang bekerja cukup besar dan rasio tulangan harus lebih besar dari rasio tulangan minimum.
4. Semakin besar mutu baja yang digunakan maka kebutuhan luas tulangan perlu akan semakin berkurang.

Saran

1. Perlu dianalisa kebutuhan luas tulangan dengan menggunakan beban yang lebih besar dan kombinasi pembebanan yang lebih banyak.
2. Perlu dicoba menggunakan bentuk struktur yang tidak simetris.
3. Perlu analisa lebih lanjut pengaruh rasio tulangan terhadap pemilihan analisa balok persegi atau balok T
4. Pada analisa selanjutnya perlu menyatakan kebutuhan luas tulangan dalam jumlah tulangan yang terpasang.

DAFTAR PUSTAKA

- Astroni, 2010, *Kolom Fondasi dan Balok T Beton Bertulang*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- McCormac J., 2000, *Desain Beton Bertulang Jilid I Edisi Kelima*, Erlangga, Jakarta.
- Nasution, 2009, *Analisis dan Desain Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Nawy E. G., 1989, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, Diterjemahkan Oleh: Bambang Suryoadmono B., PT. Refika Aditama, Bandung.
- Park. R., Paulay.T., 1975, *Reinforced Concrete Structures*, Wiley, New York.
- Setiawan, 2016, *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Tim Penyusun, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung : SNI 03 - 2847 – 2002*, ITS Press, Surabaya.